

補助事業番号 2017M-140

補助事業名 平成29年度 大気突入探査機周りの極超音速プラズマ流と熱防御材料の
表面相互作用の解析 補助事業

補助事業者名 東海大学 工学部 機械工学科 山田 剛治

1 研究の概要

本補助事業では、直接的には大気突入探査機の熱防御材料と機体周りのプラズマ流との相互作用を明らかにして、熱防御材料の開発や機体の熱空力環境の高精度評価に資することを目的としている。そこで表面波プラズマとアーク加熱プラズマ風洞の2種類のプラズマ源を用いて、供試体表面とプラズマ流との相互作用に関して調査した。またプラズマ処理技術への応用も視野に入れて、金属材料表面の改質特性とプラズマ特性との関係についても調査を行った。

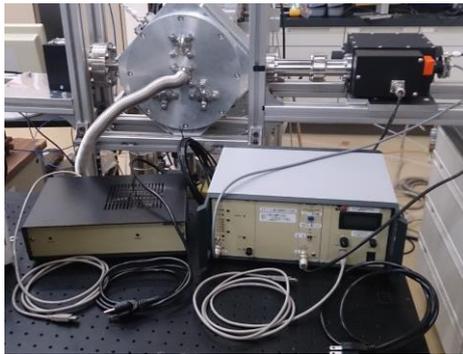
2 研究の目的と背景

近年、深宇宙へのサンプルリターンミッション、火星探査及び国際宇宙ステーションでの長期滞在などが世界各国で活発に行われており、宇宙空間での活動範囲の拡大がますます重要になっている。そこで今後、宇宙空間を利用した技術開発が行われてることが予想されるが、そのためには地上と宇宙空間を結ぶ輸送手段を確立することが必要不可欠となる。そこで飛行環境を予測して機体開発を行うために、宇宙機周りの流れの特性解明が技術課題となっているが、流れ場の特性の解明が不十分である。そのため熱防御材料の設計等に関して、過大な安全率を設けた設計がなされており、重量やコストの大幅な増加を招いている。このような背景において、再突入飛行時に機体周りに生成される高温プラズマ流が耐熱材料表面へ及ぼす影響を明らかにできれば、適切な厚みやサイズの熱防御材料を開発することができ、大幅なコスト削減につながると考えられる。そこで本研究では、再突入飛行環境を模擬した高温プラズマ流と耐熱材料との表面相互作用を解明することを目的とする。またプラズマ流と材料表面の相互作用の解明は、プラズマ処理技術の高精度化にも資すると考えられるために、金属材料を用いた表面相互作用についても調査対象としている。

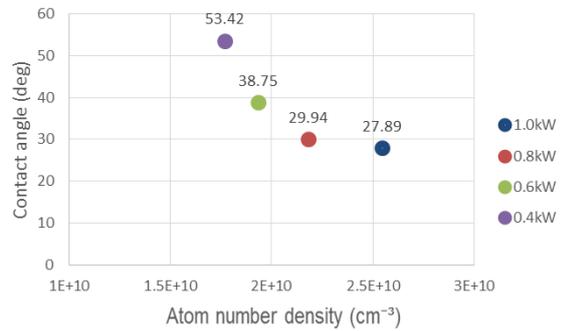
3 研究内容

(1) 表面波プラズマ装置を用いた研究 (http://yamadalab.lab.u-tokai.ac.jp/?page_id=10)

真空紫外吸収分光法を適用して銅板表面の酸素原子数密度を取得して、プラズマ照射後の濡れ特性(水滴の接触角)との相関関係を明らかにした。



真空紫外吸収分光法の計測システム

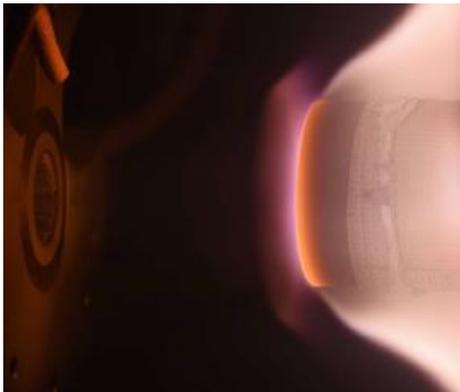


酸素原子数密度と接触角の関係

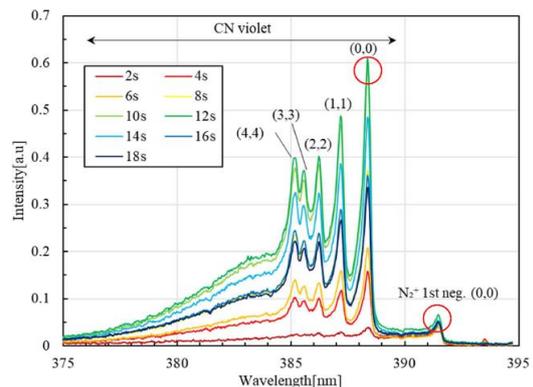
(2) アーク加熱プラズマ風洞を用いた研究 (http://yamadalab.lab.u-tokai.ac.jp/?page_id=10)

① 極超音速プラズマ流中のグラファイトアブレーション現象の研究

アーク加熱プラズマ風洞で生成した極超音速プラズマ流中に、グラファイト供試体を投入して加熱試験を行った。これより加熱試験中に供試体表面近傍で生成される化学種や化学反応過程及熱的特性の時間変化を取得した。



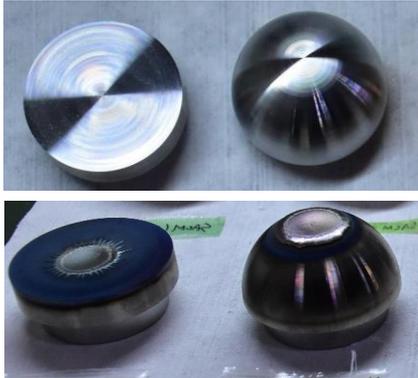
グラファイトの加熱試験の様子



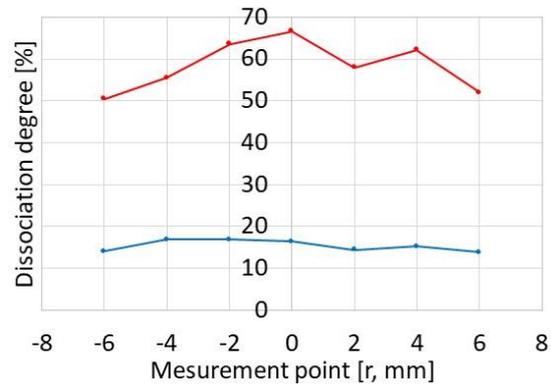
供試体表面の発光スペクトルの時間変化

② 極超音速プラズマ流による窒化鋼の表面改質に関する研究

アーク加熱プラズマ風洞で生成した極超音速プラズマ流中に、窒化鋼 (SACM645) の供試体を投入して加熱試験を実施した。加熱試験中に行った発光分光計測より供試体表面付近の窒素の解離度と熱的特性を取得して、加熱試験後の供試体表面の成分分析と硬さ計測を実施した。



窒化鋼供試体(上:加熱前、下:加熱後)



供試体前方における窒素の解離度

4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

本研究課題で得られた知見により、再突入飛行時に宇宙機周りで生成される高温プラズマ流が耐熱材料表面に及ぼす影響が解明され、将来的に高精度な熱防御材料の開発に活かされる。これより、宇宙機開発のコスト削減が期待でき今後ますますの宇宙利用が期待できる。それ以外にもプラズマ照射中のプラズマ特性と材料表面相互作用が明らかになることでプラズマ処理技術の効率化や新材料開発なども期待できる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本補助事業者はこれまで、惑星探査機周りで生成される高温プラズマ流の熱化学的特性および放射特性に関する研究を行ってきた。そして様々な計測手法やプラズマ診断技術を開発して、これまでに未解明ないくつかの物理現象を解明している。従来までは高温気体(プラズマ流)中の気相反応のみを研究対象としていたが、本補助事業においては、気相と固相の相互作用に着目しており従来の研究内容をさらに進めた内容となっている。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Gouji Yamada, Mizuki Kajino, Hiromitsu Kawazoe, Internal energy relaxation processes of nitrogen plasmas at different electronic states in an entry flight condition, 45th EPS Conference on Plasma Physics, July 2018, Zofin Palace, Prague, Czech Republic.
2. Keisuke Okuda, Hiromitsu Kawazoe, Gouji Yamada, Kenichi Sakamoto, Experimental study on wettability of a Cu plate by surface wave oxygen plasma and the reason from a plasma characteristics perspective, the 8th Joint Symposium on Mechanical and Material Engineering between Northeastern University and Tottori university, September, 2018, Northeastern University, Shenyang, China.
3. Shoma Horiuchi, Yusuke Nakao, Kenichi Sakamoto, Hiromitsu Kawazoe, Gouji Yamada, Characteristics Evaluation of Nitriding for Metal Material by supersonic

Arc-Plasma Flow, the 8th Joint Symposium on Mechanical and Material Engineering between Northeastern University and Tottori university, September, 2018, Northeastern University, Shenyang, China.

4. 野内昌平、坪内啓晟、安田銀次、山田剛治、アーク加熱プラズマ流中のグラファイトアブレーションの分光計測、平成30年度宇宙航行の力学シンポジウム、2018年12月、宇宙航空研究開発機構
5. 坪内啓晟、野内昌平、安田銀次、山田剛治、アーク加熱風洞を用いたグラファイトアブレーションを伴うプラズマ流の分光診断及び温度評価、平成30年度衝撃波シンポジウム、2019年3月、横浜国立大学

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

該当なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 東海大学工学部機械工学科(トウカイダ^ウイガク コウガクブ キカイコウガク)

住 所： 〒259-1292

神奈川県平塚市北金目4-1-1

担 当 者： 准教授 山田 剛治(ヤマダ ゴウジ)

担 当 部 署： 研究推進部研究支援課(ケンキュウスイジンブ ケンキュウシエンカ)

E-mail: cgaibu@tsc.u-tokai.ac.jp

URL : <http://yamadalab.lab.u-tokai.ac.jp/>